

# НЕРЕЗОНАНСНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПОЛОСЫ ПРЯМОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ ОПТИЧЕСКОЙ ИНЖЕКЦИИ

Е. С. Дорогуш, А. А. Афоненко

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: [dorogushelena@gmail.com](mailto:dorogushelena@gmail.com)

Разработка и поиск методов увеличения полосы прямой модуляции, улучшения эффективности модуляции на высоких частотах – востребованные и актуальные задачи. Метод оптической инжекции позволяет увеличить резонансную частоту [1]. Путем изменения положения резонансного отклика на частотной оси возможно увеличение полосы прямой токовой модуляции [2] и получение эффективной модуляции в полосе частот [3]. Недостатком метода является увеличение уровня шума на резонансной частоте. Целью работы является исследование метода оптической инжекции полупроводникового лазера с резонатором Фабри-Перо в нерезонансной области синхронизации как способа повышения эффективности прямой токовой модуляции в пределах 60 ГГц. Численный анализ модуляционных процессов основан на системе связанных укороченных уравнений, учитывающих продольную неоднородность поля и концентрации носителей заряда в активной области [4].

Особенностью резонатора Фабри-Перо является наличие эквидистантных мод, из-за чего при высоких мощностях инжекции области синхронизации близлежащих мод перекрываются, заполняя все пространство частот. В этом случае условия синхронизации наблюдаются при любой величине частотной отстройки инжектируемого излучения.

Анализ структур с различными коэффициентами отражения зеркал резонатора показал, что наибольшая эффективность модуляции достигается структурах с высокоотражающим покрытием на грани, противоположной грани, через которую осуществляется оптическая инжекция. Как видно из рис. 1, эффективность модуляции растет с увеличением мощности инжекции (рис. 1, *а*), а относительный уровень шума падает (рис. 1, *б*). Такое поведение модуляционных кривых можно объяснить следующим образом. В режиме синхронизации коэффициент усиления в активной области резонатора становится ниже порогового и собственные моды резонатора подавлены [3]. Лазер при этом работает в допороговом режиме, усиливая внешнее излучение. Модуляционная составляющая коэффициента усиления определяется переменной составляющей концентрации неравновесных носителей заряда, эффективное время жизни  $\tau_{\text{eff}}$  которых уменьшается с ростом плотности фотонов в резонаторе  $S$ :

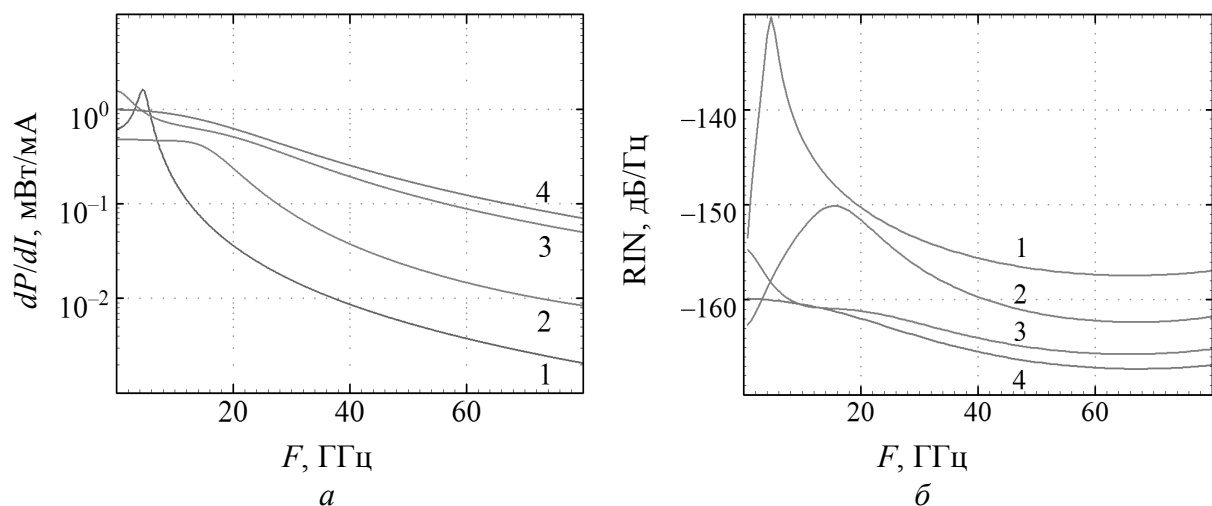


Рис. 1. Эффективность модуляции (а) и относительная интенсивность шума (б) в зависимости от частоты

Длина резонатора 300 мкм; ток накачки 10 мА; мощность инжекции 0 мВт (кривая 1), 5 мВт (кривая 2), 15 мВт (кривая 3), 30 мВт (кривая 4)

$$\frac{1}{\tau_{\text{eff}}} = \frac{1}{\tau} + v_g g S, \quad (1)$$

где  $\tau$  – время жизни неравновесных носителей заряда;  $v_g$  – групповая скорость света в волноводной части лазерной структуры;  $g$  – коэффициент дифференциального усиления. Уменьшение эффективного времени жизни приводит к увеличению граничной частоты модуляции  $f_{\text{гр}} = 1/\tau_{\text{eff}}$ .

Таким образом, использование режима сильной оптической инжекции (мощность инжекции 30 мВт) в лазере с резонатором Фабри-Перо с оптимизированными зеркалами позволяет повысить эффективность модуляции до 0.1 Вт/А на частоте 60 ГГц. При этом, из-за отсутствия резонансов относительная интенсивность шума не превышает –165 дБ/Гц, а полоса модуляции увеличивается с 8 ГГц (в режиме свободной генерации) до 25 ГГц.

1. Qi X.-Q., Liu J.-M. // IEEE Journal of selected topics in quantum electronics. 2011. Vol. 17, № 5. P. 1198–1211.
2. Lau E. K., Zhao X., Sung H.-K., et. al. // Optics Express. 2008. Vol. 16, № 9. P. 6609–6618.
3. Дорогуш Е. С. Афоненко А. А. // Сб. ст. 10-го Белорусско-Российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» 26–29 мая 2015 г. Минск, 2015. С. 49–51.
4. Афоненко А. А., Панфиленок Е. С., Малышев С. А., Чиж А. Л. // Сб. ст. 8-го Белорусско-Российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» 17–20 мая 2011 г. Минск, 2011. С. 87–90.